

Skaitmeninė fotogrametrija: skaitmeninis vietovės reljefo modelis

Ilona Urbanavičienė

Kauno kolegija

Anotacija Stereoskopinis regėjimas kartografijoje ir fotogrametrijoje suprantamas, kaip sugebėjimas pajusti ir teisingai išreikšti reljefą morfologinių ypatumų atžvilgiu. Šiuo laikotarpiu stereoskopijos pagalba siekiama gauti kuo tikroviškesnį reljefo vaizdą. Vietovės reljefo modelio gavimui taikomos įvairios priemonės ir būdai, kurių pagrindinis tikslas gauti kuo geresnį rezultatą, ir būtų galima įvertinti. Skaitmeninė fotogrametrinė stotimi *Photomod* apdorojant skaitmeninius aeroavaizdus galima sudaryti skaitmeninį vietovės reljefo modelį, sukurti ortofotografinius vaizdus ir kt.

Raktažodžiai: skaitmeninis vietovės reljefo modelis, TIN, DTM, DEM

Įvadas

Vietovės paviršiui būdinga tai, kad reljefas, nuolat kinta. Vietovės reljefo kitimą apibūdinantys objektai nusakomi šiais terminais: tolygus šlaitas, uola, kalnas, įduba, skardis.

Geometrijos terminai – taškas, linija ir plotas. Nė vienas iš jų, remdamasis kintamaisiais X, Y, Z, negali tiksliai apibrėžti kintančio vietovės paviršiaus [6]. Vietovės paviršiui išsamiai aprašyti būtina priartėti prie realybės. Tam tikslui sudaromas skaitmeninis vietovės paviršiaus modelis (toliau SVRM), kuris pagal žinomus aukščius įvairiais metodais apskaičiuoja naujų taškų aukščius.

Literatūroje [1,2,3] analizuojama pradinių duomenų, turinčių tiesioginės įtakos sudaromo skaitmeninio reljefo modelio kokybę, tikslumas, padėtis ir tankis. Svarbu Lietuvoje turėti kokybiškus aukščių duomenis, kurie atitiktų reljefo modeliui keliamus reikalavimus. Taškų skaičius turi būti pakankamai tankus, kad aukščių taškų pakaktų ne tik reljefo modeliui sudaryti, bet ir tikslumo kontrolei atlikti. Pastebima, kad duomenų kokybinės ir kiekybinės charakteristikos bei ekonominiai rodikliai priklauso nuo pasirinkto aukščių matavimų metodo.

Vietovės paviršiaus skaitmeninis atvaizdavimas taip pat vadinamas skaitmeniniu vietovės modeliu (Digital Terrain Model – DTM) arba skaitmeniniu aukščių modeliu (Digital Elevation Model – DEM) [5].

Skaitmeninis reljefo (aukščių) modelis suprantamas kaip žemės paviršiaus dalies skaitmeninis atvaizdas.

Skaitmeninio reljefo modelio darbų seka yra tokia: žemės paviršiaus aukščių duomenų rinkimas, taisha, atnaujinimas, analizė, vizualizavimas, SVRM taikymas įvairių uždavinių sprendimui [7].

SVRM darbų seka nėra vienos krypties: per įvairius tarpinius ryšius sukurti modelio variantai gali persipinti (vizualizavimas ir duomenų atnaujinimas) ir būti kartotinai panaudoti.

Darbo tikslas: išanalizuoti ir apibendrinti skaitmeninio vietovės reljefo modelio sudarymo

ypatumus Kauno kolegijoje. Pasirinkta aeroavaizdų stereopora ir atlikti stereomatavimai skaitmeninės fotogrametrijos programinės įrangos *Photomod* pagalba.

Skaitmeninio reljefo modelio duomenų gavimo būdai

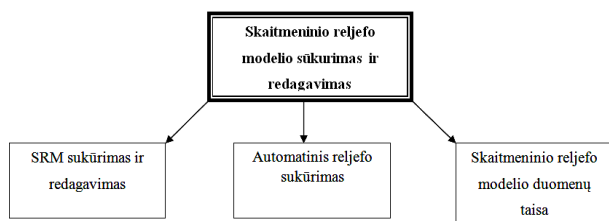
Aerofotonuotaukoms keliami griežti reikalavimai, nes reikia įvertinti daugybę įvairiausių parametrų. Tokie parametrai kaip kameros židinio nuotolis, skiriamoji geba ir pan. dažnai laikomi nekintamais. Tuo tarpu kiti parametrai: fotografavimo bazė, atstumas nuo aerokameros iki žemės paviršiaus, vaizdų sutapdinimo klaidos ir pan. gali keistis.

Skaitmeniniai reljefo modeliai leidžia sukurti bet kokio dydžio skaitmeninio reljefo modelio failą. Operatorius pats gali nurodyti diskretizavimo žingsnio dydį ir/ar panaudoti automatinio reljefo gavimo funkciją. Tai pilnai automatizuotas skaitmeninio reljefo modelio gavimas iš stereo aeroavaizdų stereoporos. Vartotojas pasirenka vietovę ir reljefo tinklo žingsnį, kuris parodytų tikrąjį reljefą. Automatizuotame procese naudojami įvairūs algoritmai [4,5,6].

Skaitmeninis reljefo modelis gali būti atvaizduotas tinkleliu, profiliais, taškais arba kontūrais. Gali būti įjungtas pilnas arba kontūrinis atvaizdavimo būdas. Vartotojas pasirenka mastelį ir žiūrėjimo tašką. Taip pat panaudotas spalvinis kodavimas aukščiui, kokybei, tikslumui [7].

Gavus reljefo modelį automatizuotu būdu, jį galima redaguoti, žymėti administracines ir kitokias ribas, koreguoti atskirus objektus - ežerus, namus, medžius, neteisingai atpažintus objektus ir kt. Šis redagavimas gali būti atliekamas stereoskopinėmis arba monoskopinėmis stotimis, arba tiesiog dviejų langų ekrane. Kontūrines linijas galima eksportuoti į vektorinį formatą.

Realizuota kokybės patikrinimo funkcija. Ji generuoja statistikines ataskaitas apie SVRM palyginimo su kontroliniais taškais, arba dviejų SVRM palyginimo rezultatus. Tai greičiausias kelias patikrinti SVRM po automatinio reljefo sukūrimo.



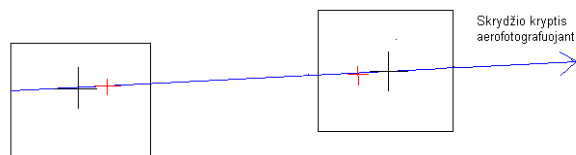
1 pav. Skaitymeninio reljefo modelio sukūrimas ir redagavimas

Skaitymeninio reljefo modelio sukūrimas ir redagavimas gali būti įvairūs. Tai galima atlikti skaitmeninėse fotogrametrinėse darbo stotyse, kuriuose įdiegtos reljefo automatinio/rankiniu būdu gavimo priemonės. Jų pagalba sukuriamas skaitmeninis reljefo modelis. Pastebėta, kad ne visada automatiniai algoritmai pakankamai efektyviai veikia, todėl skaitmeninė fotogrametrinė darbo stotis privalo turėti ir reljefo interaktyvaus redagavimo ir braižymo galimybes. Reljefo kūrimą dažniausiai pradedamas pirmiausia nuo automatizuotų procesų [6].

Reljefo skaičiavimams imama du ir daugiau persidengiančių vaizdų, kurie nurodomi programai. Sukuriamas tuščias reljefo modelio failas ir apibrėžiami jo parametrai: SVRM apimamas plotas, nurodoma kokios formos SVRM norima gauti, nurodomas žingsnis - tarpas tarp modelio taškų.

SVRM atvaizduojamas paprastai vienoje iš formų - reguliarus stačiakampis aukščio taškų tinklas ar trikampių tinklas trumpiau vadinamu *TIN*. Stačiakampis taškų tinklas visada lygiuojamas griežtai Šiaurės – Pietų – Rytų - Vakarų kryptimis projekto koordinačių sistemoje. Trikampių tinklas parenka taškus kritinėse vietose: įdubos, grioviai, kalvų viršūnės ir t.t. Todėl laikoma, kad trikampių metodu atvaizduotas reljefas geriau atspindi tikrąjį paviršių ir neturi perteklinių duomenų.

Galima pateikti ir skaitmeninį vietovės modelį kurį atlieka operatorius. Automatizuotas procesas netaikomas jei aerofotografinės nuotraukos yra stambaus mastelio ir labai urbanizuota vietovė. Tokiu atveju egzistuojantys automatizuoti algoritmai visiškai neefektyvūs, todėl pereinama iš karto prie interaktyvaus reljefo braižymo.



2 pav. Aerofotonuotraukų stereoporos orientavimas

Automatizuotu atveju sudaromas naudojamų vaizdų sąrašas. Nurodomas sukurtas tuščias reljefo modelio failas - plokštuma. Jei apdorojamam plotui yra iš anksčiau sukurta atributinių duomenų bazė su geomorfologiniais atributais (kaip skardžiai, kauburiai, melioracijos grioviai ir pan.), galima prijungti šiuos atributus prie SRM įtraukiant į reljefo kūrimo projektą. Šie papildomi duomenys pagerina automatiškai sugeneruoto reljefo modelio kokybę.

Automatinis reljefo sukūrimas tenkina tikslumo reikalavimus apie 70 – 80 proc. Kad tuo įsitikinti ir patikrinti sukurtą reljefo modelį pereinama prie interaktyvaus redagavimo ir užkrovus du ar daugiau persidengiančių vaizdų stereo stebėjimų monitoriuje vizualizuojamas reljefas ir patikrinama jo kokybė. Jei kokybė netenkina, pasirenkamas kitas skaitmeninio reljefo modelio kūrimo būdas ir pakartoti procesą. Jeigu kokybė tenkina, interaktyvaus reljefo redagavimo priemonėmis galima pataisyti tas vietas, kuriose automatinis procesas gavo neteisingus rezultatus.

Norint įsitikinti reljefo modelio teisingumu tikslinga išsimatuoti žinomus žemės paviršiaus kontrolinius taškus geodeziniais prietaisais ir įsitikinti reljefo modelio teisingumu.

Stereoskopinio vaizdo gavimo būdai

Vienas iš paprasčiausių aerofotografinių vaizdų reljefo išrinkimo interpretavimo būdų yra stereoskopinis metodas. Pagrindinė gretimų fotografinių vaizdų stereoskopinio matymo sąlyga – kad regėjimo ir aerofotografavimo bazės būtų lygiagrečios.

Norint matyti stereoskopinį vaizdą, aerofotonuotraukų stereopora orientuojama pagal pagrindines kryptis. Orientuojama yra šiais etapais [5, 6]:

- ženklinamas dešinėsios aerofotonuotraukos geometrinis centras kairiojoje aerofotonuotraukoje,
- ženklinamas kairiosios aerofotonuotraukos geometrinis centras dešiniojoje aerofotonuotraukoje,
- aerofotonuotraukos pasukamos taip, kad aerofotonuotraukos centrai ir paženklintieji gretimų fotonuotraukų centrai būtų vienoje tiesėje skrydžio, kurio metu aerofotografuota, kryptimi.

Vienas iš seniausių ir paprasčiausių priemonių stereoskopiniam vaizdai matyti yra stereoskopas. Erdvinis vaizdas matomas tada kai aerofotonuotrauka yra stebima stereoskopu, ir gaunama trimatė informacija, kuri naudojama objektams klasifikuoti pagal jų aukštumą, vietovės reljefo pokyčiams, nuolydžio kryptį nustatyti ir kt. Stereoskopai gali būti: lęšiniai, veidrodiniai, dvigubosios veidrodinės

sistemos, kompiuteriniai, kuriais stebimas stereoskopinis vaizdas monitoriuje ir pan.

Skaitmeninės fotogrametrinės stoties darbo vieta, kai skaitmeniniai stereovaizdai yra matomi spalvotame stereo stebėjimų monitoriuje turinčiame permatomą skystų kristalų poliarizuojantį ekraną. Pats monitorius turi pasižymėti dvigubai aukštesniais skleistinės dažnio režimais, taip pat turėtų būti kuo didesnė ekrano išstrižainė. Stebėjimas vykdomas naudojantis skystų kristalų pastovios poliarizacijos akiniais. Abi stereoporos nuotraukos rodomos pakaitomis tame pačiame ekrano plote, o poliarizuojantis ekranas nukreipia monitoriaus švytėjimą atitinkamais laiko momentais į reikimą pusę, t.y. į kairę, kai rodoma kairioji nuotrauka arba į dešinę – dešinioji nuotrauka. Poliarizuoto akiniai užtikrina, kad kiekvieną akį pasiektų reikiamos krypties vaizdas, o kitos krypties šviesa būtų atspindėta.

Pagal turimą techninę bazę naudojamas ir kitas stereovaizdų atkūrimo būdas, kuris siejasi su ta pačia skystų kristalų poliarizacijos technologija. Šiame metode stereoporos vaizdai yra kaitaliojami ekrane, o vaizdai valdomi akinuose. Poliarizaciją keičiantys akiniai yra sinchronizuojami infraraudonųjų spindulių signalo pagalba. Stereoskopinio vaizdo stebėjimo poliarizacijos būdu sistema įrengta skaitmeninėje fotogrametrinėje darbo stotyje *Photomod*. Būtina komfortinio darbo akims sąlyga pokadriniame režime yra pakankamai aukštas monitoriaus vertikalusis dažnis (ne mažiau, kaip 120 – 150 hercų)[7].

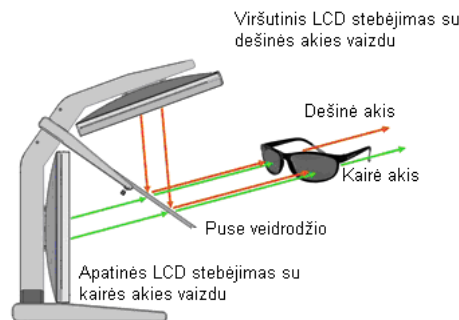
Kitas matymo būdas anaglifinis stereovaizdo atkūrimo būdas. Dešiniojo ir kairiojo aerovaizdo sanklota rodoma monitoriuje skirtingomis spalvomis (dažniausiai dešinysis raudona, kairysis - mėlyna arba žalia). Anaglifinis stereo vaizdas formuojamas atvaizduojant kairiosios ir dešinėsios stereoporų nuotraukų atvaizdavimui su sąlyginiais „raudonuojų“ ir „mėlynuojų“ filtrais. Anaglifinio stereomodelio peržiūrai ir pakeitimams atlikti yra panaudojami specialieji spektriniai anaglifiniai akiniai su tokiais pačiais filtrais. Stereo matavimų anaglifinis režimas patogus tuo, jog nekelia jokių reikalavimų monitoriui ir vaizdo plokštei. Anaglifinio stereometodo nepatogumas yra tai, kad negalima pilnavertiškai dirbti su spalvotais vaizdais ir yra šioks toks vaizdo užtamsinimas dėl spalvotų filtrų akinuose panaudojimo [7].

Vaizdų navigacija, valdymas, išdėstymas kompiuterio ekrane gali būti atliekamas: statiniu (fiksuoju) - judanti matavimo žymė, skaitmeniniai vaizdai gali būti apdorojami vidutinio galingumo kompiuteriu; dinaminis - matavimo žymė nejuda ir yra kompiuterio monitoriaus centre, tam reikia spartesnio

kompiuterio procesoriaus.

Yra sukurta įvairių programinių įrangų ir techninių galimybių, kurios skiriasi funkcionalumu, programinės įrangos ypatumais, kompleksiskumu bei kaina.

Planar monitorius yra naudojamas 3D vaizdui gauti. Lietuvoje jis nėra dar paplitęs, bet Kauno kolegijoje su juo dirba studentai.

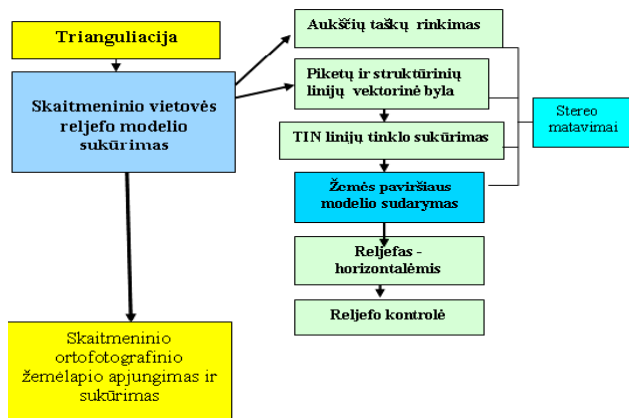


3 pav. Planar monitoriaus veikimo schema

Planar turi du pagrindinius ekranus: tai viršutinį monitoriaus LDC stebėjimą su dešinės akies vaizdu ir apatinio monitoriaus LDC stebėjimą su kairės akies vaizdu. Taip pat būtinas yra stiklas, kuris įtaisytas tarp abiejų ekrano vidurių, kad matytume 3D vaizdą. Vykdamas reljefo modelio kūrimą buvo naudotas statinis arba fiksuojamasis vaizdų judėjimo būdas, kai judanti matavimo žymė t.y. markė operatoriaus pagalba nuleidžiama ant norimo objekto. Šiuo būdu skaitmeniniai vaizdai gali būti apdorojami vidutinio galingumo kompiuteriu [8].

***Photomod*: skaitmeninis vietovės reljefo modelis**

Programa *Photomod Montage Desktop* yra pagrindinis skaitmeninės fotogrammetrijos *Photomod* sistemos programinis modulis.



4 pav. Ortofotografinio žemėlapių sudarymo technologinės schemos fragmentas

Šis modulis yra naudojamas projektų sukūrimui bei įvairių modulių paleidimui, dėl to darbas *Photomod* sistemoje visada prasideda nuo *Photomod Montage Desktop* modulio paleidimo, kurio pagalba apdorojami duomenys nuo pradžių iki galo.

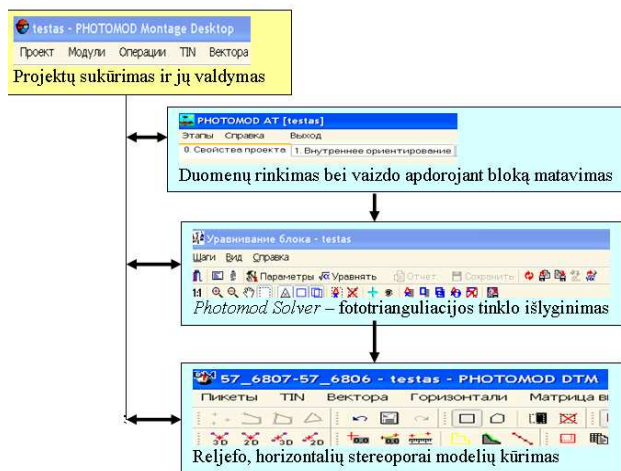
Pavaizduotoje technologinėje schemoje (4 paveikslas), matome ištrauka, kuriame akcentuojama skaitmeninio vietovės reljefo modelio sukūrimo procesas, kuris pateiktas skaitmeninės fotogrametrinės programinės įrangos *Photomod* pavyzdžiu.

Norint atlikti skaitmeninį vietovės reljefo modelį tikslinga turėti skaitmeninės fotogrametrinės programinės įrangos *Photomod* modulius, kurie pavaizduoti 5 paveiksle. Skaitmeninio fotogrametrinių duomenų apdorojimo procesas pradedamas nuo projekto sukūrimo. Kuriant projektą reikia žinoti atsakymus į šiuos klausimus:

Kokie galutiniai produktai turi būti gauti?;

Kokie darbai turi būti atliekami reikalingiems produktams gauti?;

Koks turi būti pasiektas tikslumas?



5 pav. *Photomod* programinės įrangos moduliai

Darbai atlikti reikalingi pradiniai duomenys: skaitmeniniai aerovaizdai, žemėlapiai ir kt. medžiaga, kuri gali palengvinti darbus. Nustatyti reikalingus parametrus, tokius kaip: matavimo vienetai, planimetrinė koordinatų sistema, geodezinė koordinatų sistema.

Trianguliacija atlikta naudojant skaitmeninę fotogrametrinę programinę įrangą *Photomod*, darbų seka: sukuriamas projektas, importuojami skaitmeniniai aerovaizdai, atliekamas vidinis orientavimas, sudaromas trianguliacijos blokas, atliekamas ryšio taškų, atraminių taškų matavimas aerovaizduose, atliekamas trianguliacijos bloko išlyginimas ir rezultatų analizė.

Atlikus trianguliaciją gaunamas orientuotų vaizdų pora (6 pav.) Lietuvos koordinatų sistemoje (LKS-94)



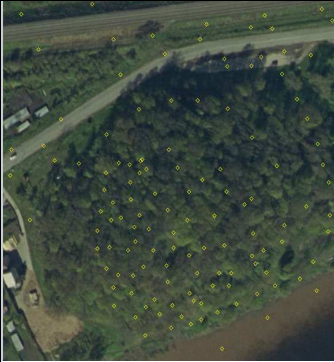

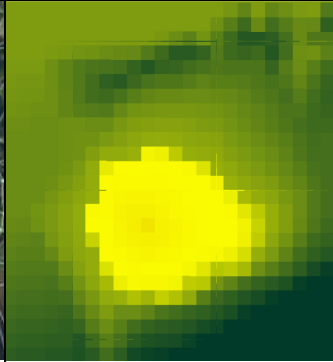

6 pav. Orientuotų vaizdų pora

Kai atlikta trianguliacija, tuomet atliekamas skaitmeninio žemės paviršiaus modelio (DTM) sudarymas *Photomod* programos DTM modulio aplinkoje. Tam reikalingas stereo režimas, t.y. *StereoDraw*, kuris skirtas sukurti ir redaguoti trimačius vektorinius objektus stereo režime. Trimačiai objektai (3D vektoriai) vėliau gali būti naudojami skaitmeninių žemėlapių kūrimui. Greta 3D vektorių sukūrimo tiesiog modulyje *Photomod StereoDraw* numatytas ir vektorių objektų iš populiarių formatų importavimas. *Photomod Stereodraw* pateikia reikiamą 3D vektorių redagavimo, jų topologinio suderinimo, padalijimo į tematinis sluoksnius, atributų ir įrašų kodų lentelėje, instrumentų rinkinį. Sistema *Photomod* saugo 3D vektorius specialiose bylose – resursuose, taip pat kaip ir bet kokius kitus objektų tipus.

Darbo ploto ribose, charakteringos vietovės lūžio linijos išreiškiamos struktūrinėmis linijomis arba renkami aukščio taškai - piketai, kurie turės sudaryti netaisyklingą taškų tinklą. Taškai renkami darbo ploto ribose.

Stereomatavimai, tai sunkus, įdomus ir varginantis darbas, nes vaizdas fiksuojamas disparatiniuose taškuose, reikalaujantis gilesnių praktinių įgūdžių ir laiko.

Iš piketų sukuriami ir išsaugoma vektorių byla *piketai*. Iš vektorių sukuriamas netaisyklingas taškų ir linijų tinklas – *TIN*, kuris patikrinamas ar *TIN* trikampių kraštinių linijos nesikerta, nesusilieja. Jeigu linijos kirstųsi viena su kita arba trikampių kampai labai maži yra redaguojami vektoriai arba *TIN*.

			
7 pav. Aukščių taškų piketai	8.pav. Piketų ir struktūrinių linijų vektoriai	9 pav. Žemės paviršiaus modelio matrica pagal TIN	10 pav. Horizontalės pagal matrica

Iš redaguotų vektorių kuriamas naujas *TIN*'as. Teisingi duomenys leidžia kurti žemės paviršiaus modelio (*DTM*) matricą pagal *TIN*'ą. Matrica naudojama ortofotografinių žemėlapių sudarymui. Iš matricos generuojamos horizontalės ir tikrinama ar horizontalės teisingai išreiškia žemės paviršių.

Lyginant gautus aukščių rezultatus *Photomod* programine įranga su M 1 : 10 000 topografiniame žemėlapyje pavaizduotais aukščių taškais, galima teigti, kad aukščių taškų skirtumai skiriasi iki 1,2 m. Reikia atkreipti dėmesį, kad analizuojamame žemėlapyje reljefas išbraižytas iš 1985 m. laidos žemėlapių. Rezultatų teisingumui patvirtinti reikia atlikti geodezinius matavimus.

Išvados

1. Skaitmeninėse fotogrametrinėse darbo stotyse įdiegtos reljefo automatinio gavimo priemonės, bet automatiniai algoritmai ne visada efektyviai veikia, todėl būtinas reljefo interaktyvaus redagavimo ir braižymo galimybės trimatėje erdvėje.
2. Aukščių taškų skaičius turėtų būti pakankamai tankus, kad aukščių taškų pakaktų ne tik reljefo modeliui sudaryti, bet ir tikslumo kontrolei įvertinti.
3. Trikampių tinku (*TIN*) atvaizduotas reljefas geriausiai atspindi tikrąjį žemės paviršių, bet būtinas reljefo linijų taisymas trimatėje erdvėje.
4. Skaitmeninės fotogrametrinės programinės įrangos gauti rezultatai priklauso ir nuo techninės įrangos (monitoriaus, stereostebėjimo akinių) bei stereoskopinio matymo gebėjimų.
5. Skaitmeninis fotogrametrinis duomenų apdorojimo procesas yra automatiškai sukuriamas, kuri galima pratęsti keliems operatoriams.

Literatūros sąrašas

1. Kumetaitienė A., Zakarevičius A. skaitmeninių reljefo modelių tikslumo sąsajų su modeliavimo parametrais ir reljefo morfometrinėmis savybėmis regresinė analizė // Geodezija ir kartografija. 2006. Nr. 3. P. 71-76
2. Kumetaitienė A., Kumetaitis A. Optimalaus skaitmeninio reljefo modelio sudarymo technologijos tobulinimas // Geodezija ir kartografija. 2005. Nr. 2. P. 57-61
3. Kumetaitis A. Skaitmeninio reljefo modelio sudarymas ir tobulinimas // Geodezija ir kartografija. 2004. Nr. 1 P. 29-34
4. Paul R. Wolf, Bon A. Dewitt Elements of Photogrammetry with Applications in GIS. McGraw – Hill. 2000. 608 p.
5. Rugienė B. knygoje Fotogrametrija. Technika, Vilnius, 2008. 203 p.
6. Wrlfried Linder Digital Photogrammetry, a Practical Course. Springer 2006. 214 p.
7. Prieiga prie interneto: www.racurs.ru
8. Prieiga prie interneto: www.planar.com

Digital photogrammetry: digital terrain model

Summary

Stereoscopic presentation in mapmaking and photogrammetry is perceived as an ability to feel and correctly express the relief in respect of morphological traits. With the help of stereoscopy the most realistic relief representation may be obtained. By means of processing of digital aerophotos by digital photogrammetric station *Photomod* digital terrain models may be made and orthophotographic images created, etc.

The amount of height dots shall be quite dense, so that height dots are in good supply to make the model, as well as to evaluate the accuracy control.

The relief pictured by triangle *TIN* at best reflects real earth surface, but relief lines correction in three-dimensional space is required.

Digital photogrammetric software results depend upon the hardware (monitor, stereo surveillance glasses) and stereoscopic vision skills.